

ступінь та глибина зміцнення; величина, знак та глибина залягання залишкових напружень. Запропонований підхід дозволяє шляхом проведення статистичних випробувань над імітаційними моделями виконувати науково обґрунтований вибір технологічних методів та режимів оброблення. Було проведено експериментальну перевірку наведеної моделі, яка підтвердила правомірність даного підходу до вирішення завдання забезпечення регламентованої зносостійкості фрикційних циліндричних поверхонь.

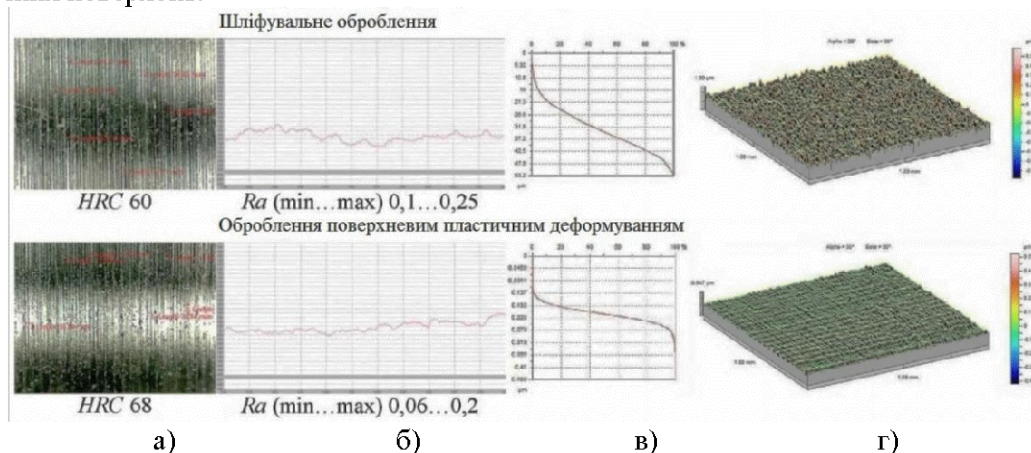


Рис. 5. Профілограми та 3D моделі спряжених поверхонь фрикційних пар отриманих різними технологічними операціями

Інформаційні джерела

1. Демкии Н.Б. Контактное шероховатых поверхностей. М.: Машиностроение, 1970. – 270 с.
2. Крагельский И.В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
3. Рьжов Э.В. Контактная жесткость деталей машин. М.: Машиностроение, 1966. – 195 с.
4. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
5. Ткачук А.А. Підвищення зносостійкості поверхонь кочення роликотідишипників методами зміцнювально-вигладжувального оброблення: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Ткачук Анатолій Анатолійович. – Луцьк, 2014. – 180 с.

УДК 621.179

С.М. Лігоміна, С.В. Ходневич

Національний технічний університет України «КПІ»

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТО-АКУСТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

У статті описано моделювання електромагніто-акустичних перетворювачів за допомогою метода кінцевих елементів, з використанням технології виготовлення друкованих плат, в програмному середовищі Elcut. Отримані результати дозволяють зробити висновок про перспективність застосування запропонованого підходу.

Ключові слова: електромагніто-акустичний перетворювач, метод кінцевих елементів, комп'ютерне моделювання.

В статті описано моделирование электромагнит-акустических преобразователей с помощью метода конечных элементов, с использованием технологии изготовления печатных плат, в программной среде Elcut. Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности применения предложенного подхода.

Ключевые слова: электромагнит-акустический преобразователь, метод конечных элементов, компьютерное моделирование.

The paper describes simulation electromagnet-acoustic transducers using the finite element method, using the technology of PCB in the software environment Elcut. These results suggest a promising application of the proposed approach.

Keywords: Electromagnet-acoustic transducer, finite element method, computer modeling.

Актуальність проблеми. Останнім часом зріс інтерес до використання в неруйнівному контролі безконтактних електромагніто-акустичних перетворювачів - ЕМАП.

ЕМАП має ряд переваг: відсутність попередньої підготовки поверхні об'єкта контролю (ОК), відсутність контактної рідини, можливість роботи з об'єктом контролю при високій температурі, висока швидкість сканування. Але, через доволі низький коефіцієнт перетворення даний тип перетворювачів не знайшов широкого застосування.

Основним елементом ЕМАП від якого залежить ефективність його роботи є котушка збудження/ прийому.

Існує дві технології виготовлення котушок: з використанням намотувальних елементів і з використанням технології виготовлення друкованих плат.

У даній роботі описується моделювання ЕМАП з використанням технології виготовлення друкованих плат.

Аналіз попередніх досліджень: Для підвищення ефективності перетворювача необхідно або досліджувати експериментальну модель перетворювача, або створити його математичну модель, яка досить точно описує процеси, що відбуваються в перетворювачі. Але при моделюванні за допомогою математичної моделі неможливо врахувати геометрію конструкції та інші конструктивні параметри [1,2].

Методика розрахунку: Вирішення поставленого завдання може бути за допомогою використання методу кінцевих елементів.

З точки зору обчислювальної математики, ідея методу кінцевих елементів полягає в тому, що мінімізація функціоналу варіаційної задачі здійснюється на сукупності функцій, кожна з яких визначена на своїй під області [3].

З розвитком обчислювальної техніки можливості методу кінцевих елементів постійно розширюється, також розширюється клас вирішених завдань.

Програмне забезпечення, що реалізує даний метод: ANSYS, Comsol, ELCUT. Порівняльна характеристика програмного забезпечення наведена у таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика програмного забезпечення.

Програмний пакет	Висока вартість	Безкоштовна демонстраційна версія	Громіздкість	Складний інтерфейс
COMSOL	+	-	+	+
Femlab	+	-	+	+
ANSYS	+	-	+	+
ELCUT	-	+	-	-

Зробивши порівняльний аналіз було обрано програмний пакет ELCUT [4].

ELCUT – це потужний сучасний комплекс програм для інженерного моделювання електромагнітних, теплових і механічних задач методом кінцевих елементів.

Російськомовний інтерфейс, простота опису навіть складних моделей, широкі аналітичні можливості комплексу та висока степінь автоматизації всіх операцій дозволяють повністю зосередитись на своїй задачі.

При постановці задачі в Elcut можна використовувати наступні можливості: завдання властивостей середовища, джерел поля та граничних умов.

Результатами розрахунку можуть бути: магнітний потенціал, магнітна індукція, напруженість магнітного поля, сили, моменти, енергія магнітного поля, потокозчеплення власної і взаємної індуктивності, також існують спеціальні можливості: редактор формул, що дозволяє описувати будь-який вид джерела у часі та інтегральний калькулятор який обчислює різноманітні інтегральні значення на вказаних лініях і поверхнях;

Моделювання випромінювача: Для моделювання було вибрано задачу нестационарного магнітного поля тому що, даний тип задачі дозволяє розрахувати нестационарне магнітне поле, викликане змінними струмами (синусоїдальні, імпульсні і т. д.), постійними магнітами, чи зовнішнім магнітним полем, в лінійному чи нелінійному середовищі.

На рис.1 представлена модель випромінювача зроблена в ELCUT. Модель складалася з ізоляційного матеріалу (склотекстоліт) - 1, магніту – 2(неодимовий сплав), витків котушки типу меандр із зустрічно спрямованими в сусідніх витках струмами – 3(мідь), і ОК (алюміній)– 4.

ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

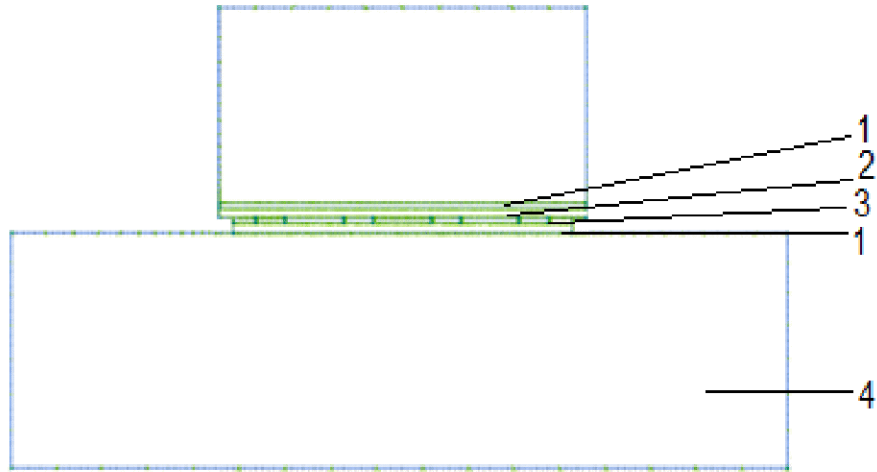


Рисунок 1. Модель випромінювача: 1 - склотекстоліт; магніт - 2; витки котушки - 3; ОК - 4.

При моделюванні було задано умови, наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Основні параметри.

Параметри	Повітря	Провідник 1	Провідник 2	ОК
Відносна магнітна проникність	1	1	1	1
Електропровідність, 10^5 См/м	0	5.6	5.6	10

Налаштування джерела поля наведено у таблиці джерела поля наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

Джерело поля

	Провідник 1	Провідник 2
Закон зміни струму	синусоїдальний	синусоїдальний
Амплітуда струму, А	100	-100
Частота, МГц	1	1

Відомо, що величина зазору між котушкою датчика і ОК, як і провідність матеріалів ОК має критичний вплив на щільність вихрових струмів, що в свою чергу впливає на ефективність збудження поверхневих хвиль Релея.

При моделюванні датчика був отриманий досить несподіваний результат, представлений на рис.2.

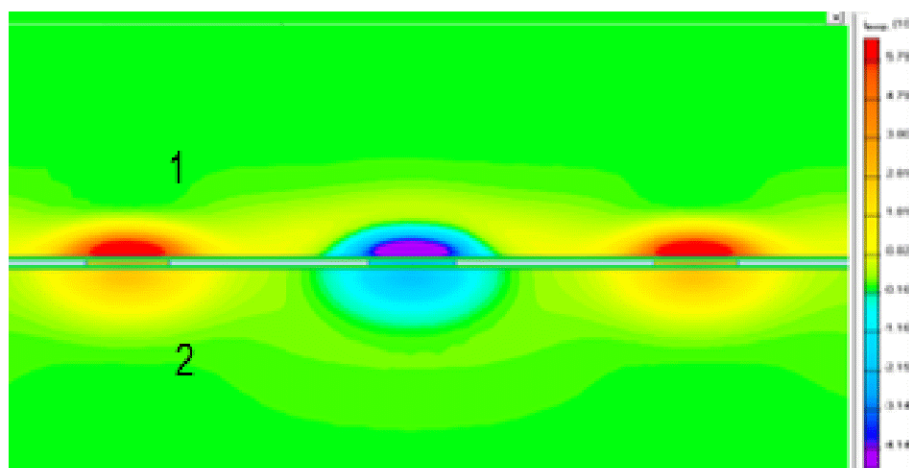


Рисунок 2. Щільність розподілу вихрових струмів в моделі (зазор між котушкою і ОК $h = 0.1$), 1 - датчик, 2 - ОК.

Як видно з результатів моделювання, через те, що провідність неодимового магніту вища провідності ОК, вихровий струм, що наводиться в ньому, значно сильніше. Щоб уникнути цього явища доцільно використовувати екран між котушкою і магнітом, як представлено на рис. 3.

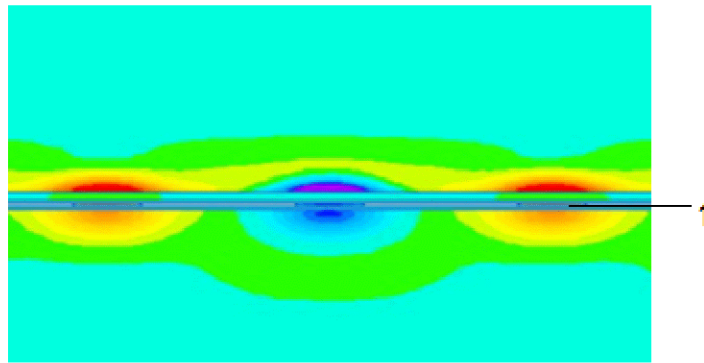


Рисунок 3. ЕМАП з екраном з фольги, фольга – 1.

Моделюємо роботу датчика змінюючи величину зазору між котушкою і ОК (рис. 4-5).

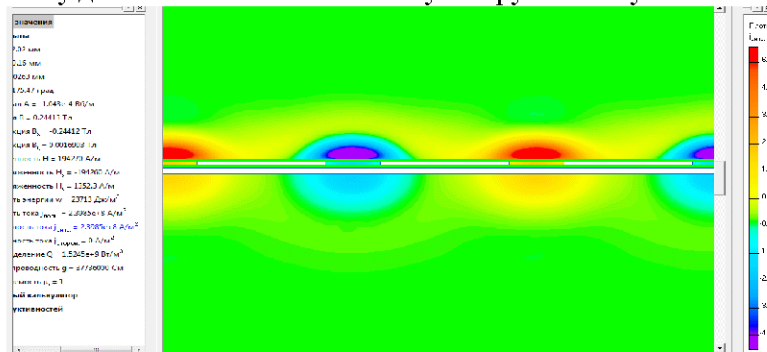


Рисунок 4. Щільність розподілу вихрових струмів в моделі (зазор між котушкою і ОК $h = 0.2$).

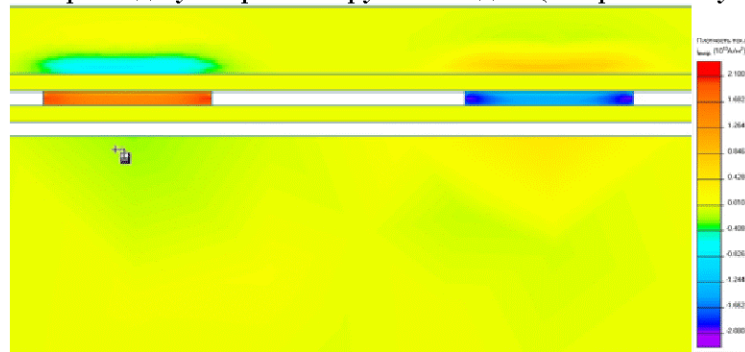


Рисунок 5. Щільність розподілу вихрових струмів в моделі (зазор між котушкою і ОК $h = 0.08$).

Виходячи з отриманих при моделюванні даних можна зробити наступні висновки:

- 1) Зі збільшенням величини зазору між контактуючою поверхнею давача і ОК глибина проникнення і густина вихрових струмів, що наводяться в ОК, зменшується.
- 2) При збільшенні величини зазору індуктивність збільшується.

Отже базуючись на отриманих під час моделювання результатах можна:

1. Виготовити давач з оптимальними параметрами для збудження поверхневих хвиль в ОК, а саме :
 - геометричними розмірами провідника, з якого виготовляється котушка давача та постійного магніту.
 - ефективною для збудження поверхневих хвиль величиною магнітного поля постійного магніту
 - ефективною величиною струму для збудження поверхневих хвиль в ОК
2. На основі оптимізованих параметрів можна виготовити приймач з максимальним коефіцієнтом перетворення.

Інформаційні джерела

1. Буденков Г. А. Электромагнитно-акустические датчики для наклонного излучения ультразвуковых волн. / Г. А. Буденков, В. Н. Квятковский, Ю. В. Петров // Дефектоскопия. –1974. – Вып. 1. – С. 38 – 44.
2. Малинка А. В. Излучение и приём ультразвуковых колебаний под заданным углом при электромагнитно-акустическом методе / А. В. Малинка // Дефектоскопия. – 1979. – Вып.С. 16 – 20.
3. Метод_конечных_элементов [Електронний ресурс] <http://ru.wikipedia.org/wiki/>
4. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Версия 5.9. Керівництво користувача. С.-П. : -Виробничі кооператив TOP, 2011. - С.360.